

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. Juli 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/058443 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B23K 20/12

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003920

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. November 2003 (26.11.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 60 465.7 21. Dezember 2002 (21.12.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MTU AERO ENGINES GMBH [DE/DE];  
Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BAYER, Erwin [DE/DE]; Ostenstrasse 36, 85221 Dachau (DE).

GROHMANN, Boris [DE/DE]; Siebenbürgener Strasse 7, 82024 Taufkirchen (DE). HERMLE, Frank [DE/DE]; Josef-Ritz-Weg 29a, 81673 München (DE). JÄNKER, Peter [DE/DE]; Hochackerstrasse 52 a, 85521 Riemerling (DE).

(74) Anwälte: SÖLLNER, Oliver usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, IPM - C106, 70546 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaat (national): US.

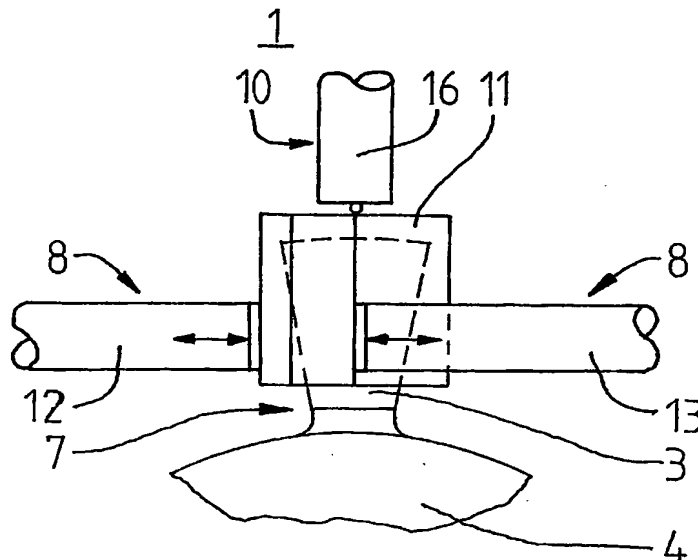
(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FRICTION WELDING DEVICE

(54) Bezeichnung: REIBSCHWEISSVORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a friction welding device for integrally joining parts (3, 4). Said device comprises an oscillator (8) that generates a periodic motion of one part and of a welding surface (5, 6), which is located on this part, relative to another static part and to a welding surface, which is located on this static part, with directions of motion parallel to the welding surfaces. The inventive device also comprises a compressing device, which presses the welding surfaces against one another, and comprises a cassette (11) that holds the moved part. The oscillator (8) comprises two or more even numbered piezo actuators, which are situated in pairs on a working line and which can be pretensioned from opposing sides against the cassette (11) while producing pressure, and can be moved with the cassette and with the part in a synchronous oscillatory manner.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Reibschweissvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von Bauteilen (3, 4), mit einem eine periodische Bewegung eines Bauteils und einer an diesem vorhandenen Schweissfläche (5, 6) relativ zu einem anderen, statischen Bauteil und einer an diesem vorhandenen Schweissfläche mit Bewegungsrichtungen parallel zu den Schweissflächen erzeugenden Oszillator (8), mit einer die Schweissflächen aufeinander drückenden Stauchvorrichtung und mit einer das bewegte Bauteil aufnehmenden Kassette (11). Der Oszillator (8) umfasst zwei oder eine höhere gerade Anzahl an Piezoaktuatoren, welche paarweise auf einer Wirkungslinie liegen und unter Druckerzeugung von gegenüberliegenden Seiten gegen die Kassette (11) vorspannbar und mit dieser und dem Bauteil synchron oszillierend bewegbar sind.

## Reibschweißvorrichtung

Die Erfindung betrifft eine Reibschweißvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von Bauteilen, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Reibschweißvorrichtungen sind in sehr unterschiedlichen Ausführungen bekannt. Ein Unterscheidungskriterium ist das zur Anwendung kommende, kinematische Prinzip. Im vorliegenden Fall geht es um Vorrichtungen, bei denen von zwei zu verbindenden Bauteilen eines statisch gehalten, das andere oszillierend, d.h. periodisch hin und her, bewegt und dabei gegen das statische Bauteil gedrückt wird. Die periodische Bewegung verläuft parallel zu den vorgesehenen Schweißflächen und wird von einem sogenannten Oszillator erzeugt. Das Anpressen erfolgt senkrecht zu den Schweißflächen mittels einer geeigneten Stauchvorrichtung. Wegen der hohen Anpress- und Reibungskräfte wird das bewegte, in der Regel kleinere Bauteil in einer stabilen Kassette gehalten, welche meist nur die Schweißzone freilässt. Die oszillierende Bewegung kann auf gerade und/oder gekrümmter Bahn erfolgen, z.B. auf einem Teil eines Kreisbogens. Bei der geradlinigen Variante wird häufig die Bezeichnung „lineares Reibschweißen“, abgekürzt „LRS“, verwendet. Im Hinblick auf die hohen dynamischen Belastungen müssen alle Elemente einer Reibschweißvorrichtung besonders robust, formstabil und spielfrei ausgeführt sein, was insbesondere beim Reibschweißen größerer Bauteile aus hochfesten Metallen gilt. Wichtig sind weiterhin präzise, reproduzierbare und variierebare Reib- und Stauchbewegungen mit hoher Positioniergenauigkeit am Ende des dynamischen Reibvorganges. All diese Kriterien haben über Jahre der Entwicklung dazu geführt, dass sich mechanische und hydraulische Varianten sowie Kombinationen aus beiden zur unmittelbaren Erzeugung der benötigten Kräfte und Bewegungen durchgesetzt haben. Es versteht sich, dass die entsprechenden Antriebe auch Elektromotoren, elektronische Steuerungen und Regelungen, d.h. elektrische und elektronische Elemente umfassen.

Die europäische Patentschrift 0 513 669 B1 schützt ein Reibschweißverfahren zur Beschaukelung eines Schaufelträgers für Strömungsmaschinen einschließlich der benötigten

Vorrichtung bzw. Vorrichtungselemente. Die reale Ausführung dieser Reibschweißvorrichtung arbeitet mit einem elektromotorisch angetriebenen, mechanischen Oszillator nach einem Exzenterprinzip sowie mit einer elektrohydraulisch druckbeaufschlagten, hydraulischen Stauchvorrichtung.

Bei mechanischen Oszillatoren ist die maximale Bewegungsfrequenz auf Werte unter 100 Hertz (Hz) begrenzt. Bei hydraulischen Oszillatoren liegt die maximale Frequenz über 100Hz aber noch unter 150 Hz. Nach der Gleichung Leistung – Kraft x Geschwindigkeit ist die Reibleistung proportional zur Reibkraft, zur Bewegungsamplitude und zur Bewegungsfrequenz. Die Reibkraft ergibt sich aus der Normalkraft und dem Reibwert. Bei vorgegebener Amplitude, vorgegebener Frequenz (siehe obige Maximalwerte) und vorgegebenem Reibwert lässt sich die Reibleistung nur über die Normalkraft/Anpresskraft erhöhen bzw. beeinflussen. Bei vorgegebener Reibleistung führen die relativ niedrigen Frequenzen der mechanischen und hydraulischen Oszillatoren zu entsprechend hohen Anpresskräften, die von der Stauchvorrichtung aufzubringen sind. Hohe Kräfte erfordern mechanisch besonders stabile und massive, d.h. schwere Komponenten für die Reibschweißvorrichtung.

Angesichts der bekannten Lösungen und ihrer Nachteile besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Reibschweißvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von Bauteilen mit periodischer Bewegung eines Bauteils bereitzustellen, die durch genauere und besser reproduzierbare Funktion zu geometrisch exakteren Integralbauteilen führt und die durch höhere Bewegungsfrequenzen und geringere Reibkräfte die Fertigung filigraner Konstruktionen ermöglicht, wobei im Schweißbereich leichtere und kleinere, platzsparendere Vorrichtungselemente verwendbar sind.

Diese Aufgabe wird durch die in Patentanspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst, in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen in dessen Oberbegriff. Erfindungsgemäß umfasst der Oszillator zwei oder eine höhere gerade Anzahl an Piezoaktuatoren, die paarweise zumindest annähernd auf einer Wirkungslinie liegen. Die Piezoaktuatoren üben von gegenüberliegenden Seiten Druckkräfte auf die Kassette mit dem bewegten Bauteil aus, so dass eine definierte Vorspannung realisierbar ist, und die periodische Reibbewegung praktisch spielfrei abläuft. Über die elektrische Spannungssteuerung/-regelung der

Piezoaktuatoren mit der Möglichkeit, jeden einzelnen Aktuator individuell zu beaufschlagen, lassen sich die mechanische Vorspannung der Kassette, die Bewegungsfrequenz, die Bewegungsamplitude und die Nullpunktslage der Bewegung einschließlich der Endposition am Ende des Schweißvorganges sehr genau und reproduzierbar wählen. Die Erfordernis aufwendiger Nacharbeit zum Ausgleich geometrischer Ungenauigkeiten der verschweißten Einheit, z.B. durch NC-Fräsen, wird dadurch stark reduziert bzw. eliminiert. Infolge der reduzierten Reibkräfte, einer kleineren und leichteren Kassette etc., lassen sich auch filigrane, mechanisch empfindliche Blisks (Bladed Disks) mit eng stehenden Schaufeln durch Reibschweißen fertigen und instandsetzen. Dabei können die Naben/Scheiben der Rotoren optimal an die Betriebslasten angepasst und weitgehend fertigt bearbeitet sein und müssen nicht mehr im Hinblick auf die Reibschweißlasten überdimensioniert bzw. mit erheblichem, später zu entfernenden Aufmaß versehen werden.

In den Unteransprüchen sind bevorzugte Ausgestaltungen der Reibschweißvorrichtung gemäß Hauptanspruch gekennzeichnet.

Die Erfindung wird anschließend anhand der Figuren noch näher erläutert. Dabei zeigen in stark vereinfachter, nicht maßstäblicher Darstellung:

Figur 1 eine axiale Teilansicht eines Schaufelträgers mit einer daran zu befestigenden Schaufel

Figur 2 die Teilansicht gemäß Figur 1 ergänzt um eine Reibschweißvorrichtung,

Figur 3 eine radiale Teilansicht des Schaufelträgers, der Schaufel und der Reibschweißvorrichtung gemäß Figur 2,

Figur 4 eine tangentielle Teilansicht eines Schaufelträgers, einer Schaufel und einer Reibschweißvorrichtung mit vier Piezoaktuatorpaaren,

Figur 5 eine Teilansicht eines Piezoaktuators mit einer Blattfederanordnung und

Figur 6 eine Anordnung von Piezoelementen

Figur 1 zeigt in axialer Ansicht einen Teil eines für einen Rotor einer Turbomaschine vorgesehenen Schaufelträgers 4, an dem eine Schaufel 3 durch Reibschweißen befestigt werden soll. Die oszillierende Reibbewegung soll hier quer zur Längsmittelachse des Schaufelträgers 4 erfolgen, was durch einen horizontalen Doppelpfeil für die Reibkraft  $F_r$ .

symbolisiert ist. Dabei wird nur die Schaufel 3 bewegt, der Schaufelträger 4 wird statisch gehalten. Die Schweißflächen 5, 6 werden von einer senkrecht zu diesen gerichteten Stauchkraft  $F_s$  aufeinandergepresst, wobei die Stauchkraft  $F_s$  über die bewegte Schaufel 3 in die Schweißzone 7 geleitet wird. Der von oben auf die Schaufelspitze weisende Kraftpfeil hat keine Bedeutung für die tatsächliche Art der Krafteinleitung in die Schaufel 3. Zu bevorzugen ist sicher eine Krafteinleitung mit einer möglichst gleichmäßigen Belastung eines Großteils der Schaufeloberfläche durch Reib- bzw. Formschluss.

Figur 2 zeigt zusätzlich zu den reibzuschweißenden Bauteilen 3, 4 eine erfindungsgemäße Reibschweißvorrichtung 1, wobei zum besseren Verständnis auch die Figur 3 heranzuziehen ist. Die Schaufel 3 ist zur Übertragung der beachtlichen Kräfte weitgehend vollständig von einer mechanisch stabilen Kassette 11, vorzugsweise aus Stahl oder Hartmetall, umschlossen, deren Innenkontur bestmöglich an die Schaufelkontur angepasst ist. Die Kassette 11 besteht aus zwei oder mehr, miteinander verschraubten Teilen mit der Schaufelgeometrie angepassten Trennfugen. Neben der Kassette 11 sind der eine definierte, periodische Reibbewegung parallel zu den Schweißflächen 5, 6 erzeugende Oszillator 8 und die eine definierte Stauchkraft und Zustellbewegung erzeugende Stauchvorrichtung 10 wesentlich Elemente der Reibschweißvorrichtung 1. Im vorliegenden Beispiel arbeiten sowohl der Oszillator 8 als auch die Stauchvorrichtung 10 nach dem piezoelektrischen Prinzip, d.h. mit durch elektrische Gleichspannung bewirkter Längenänderung von Piezoelementen. In Figur 1 sind zwei horizontale, auf einer Wirkungslinie liegende, von links und rechts an der Kassette 11 angreifende Piezoaktuatoren 12, 13 des Oszillators 8 sowie ein vertikal von oben an der Kassette 11 angreifender Piezoaktor 16 der Stauchvorrichtung 10 zu erkennen. Die Kraftübertragungsstellen zwischen den Piezoaktuatoren und der Kassette 11 werden, je nach Relativbewegung, in der Regel einen oder mehrere Freiheitsgrade aufweisen, z.B. für translatorische Verschiebungen und/oder Schwenkbewegungen. Dabei können Gleit- und/oder Wälzlager zur Anwendung kommen. Im vorliegenden Fall kann beispielsweise ein Schwenkgelenk mit einem Freiheitsgrad zwischen dem Piezoaktor 16 und der Kassette 11 angeordnet sein. Die Ausführung der Kraftübertragungsstellen liegt im Bereich des üblichen Fachwissens und ist kein unmittelbarer Gegenstand der Erfindung. Die eingezeichneten Doppelpfeile deuten die synchrone, gleichgerichtete Bewegung der Piezoaktuatoren 12 und 13 an.

Anhand von Figur 3 wird das Erfindungsprinzip noch deutlicher. In dieser radialen Teilansicht des Schaufelträgers 4 sowie der Schaufel 3 erkennt man das in der Kassette 11 eingeschlossene Schaufelprofil sowie die daran angepassten Trennfugen der Kassette 11. Die Längsmittelachse X des Schaufelträgers, d.h. seine spätere Rotationsachse, verläuft in dieser Ansicht vertikal. Es versteht sich, dass bei einer Neubeschaukelungen des Schaufelträgers 4 eine Vielzahl von nahe beieinanderstehenden Schaufeln 3 am Umfang zu befestigen ist, von denen hier der Übersichtlichkeit halber nur eine wiedergegeben ist. Daher muss die Kassette 11 so gestaltet sein, dass sie zwischen bereits vorhandenen Schaufeln Platz findet. Dies erklärt die vereinfacht dargestellte, gekröpfte Form der Kassette. Im vorliegenden Fall umfasst der Oszillator 8 vier Piezoaktuatoren 12 bis 15, welche paarweise auf einer Wirkungslinie liegen und quer zur Längsmittelachse X angeordnet sind. Es ist zu beachten, dass die Piezoaktuatoren – aufgrund der erforderlichen Schwingungsamplituden von mehreren Millimetern – Längen von mehreren Metern aufweisen können, wobei eine Vielzahl von Piezoelementen geometrisch in Reihe geschaltet, d.h. hintereinander angeordnet ist. Daher ist es günstig, die langen Piezoaktuatoren 12 bis 15 in der dargestellten Weise paarweise axial vorderhalb und hinterhalb des beschaukelten bzw. zu beschaukelnden Schaufelträgers 4 anzuordnen. Es sei angemerkt, dass die Reibschweißvorrichtung 1 sowohl für die Neuteilfertigung als auch für Reparaturzwecke (Instandsetzung), d.h. für den Ersatz einzelner oder weniger Schaufeln verwendbar ist. Die beiden vorderen Piezoaktuatoren 12, 13 werden synchron gesteuert in der Weise, dass sie immer unter Druckspannung an der Kassette 11 anliegen. Das gleiche gilt für die beiden hinteren Piezoaktuatoren 14 und 15. Es wird in aller Regel auch so sein, dass das vordere Aktuatorenpaar mit gleicher Frequenz wie das hintere Aktuatorenpaar betrieben wird. Bei Phasengleichheit und Amplitudengleichheit des vorderen und hinteren Aktuatorenpaares führt die Schaufel 3 eine geradlinige, oszillierende Bewegung aus. Es gibt aber weiter die Möglichkeiten, ein Aktuatorenpaar relativ zum anderen mit unterschiedlicher Amplitude und/oder mit Phasenverschiebung zu betreiben, dies bei gleicher Frequenz. Für die Schaufel 3 hat dies zur Folge, dass Kombinationen aus translatorischen Bewegungen und Schwenkbewegungen bzw. reine Schwenkbewegungen um variable Drehpunkte möglich sind. Siehe hierzu den geraden und den gekrümmten Doppelpfeil über der Schaufel 3. Dies setzt eine entsprechend gelenkige Anbindung der Piezoaktuatoren 12 bis 15 an die Kassette 11 voraus. Durch lokal unterschiedliche Bewegungsformen und unterschiedliche

Amplituden kann die eingebrachte Reibarbeit über die Schweißflächen variiert werden, z.B. in dünnen Schaufelbereichen weniger Reibarbeit als in dicken, wodurch sich eine gleichmäßigere Temperaturverteilung und letztlich ein besseres Schweißergebnis erzielen lässt.

Figur 4 zeigt eine Teilansicht des Schaufelträgers 4 mit Schaufel 3 in Umfangsrichtung/Tangentialrichtung, wobei die Längsmittelachse X des Schaufelträgers 4 vertikal und rechts neben der eigentlichen Darstellung verläuft. Die hier verwendete Reibschweißvorrichtung 2 unterscheidet sich von der voranstehend beschriebenen Reibschweißvorrichtung 1 dadurch, dass ihr Oszillator 9 vier Paare von Piezoaktuatoren, das heißt acht Piezoaktuatoren umfasst, wobei die Darstellung nur die vier Piezoaktuatoren 17 bis 20 zeigt, welche in der Ansicht vorderhalb der Kassette 11 angeordnet sind. Die Wirkungsebene der Piezoaktuatoren 17, 18 liegt relativ zur Längsmittelachse X in einer größeren radialen Höhe H2 als die Wirkungsebene der Piezoaktuatoren 19, 20, welche in der radialen Höhe H1 liegt. Bei Reibschweißversuchen hat sich gezeigt, dass Schaufeln trotz exakt radialer Ausrichtung in der Kassette nach dem Anschweißen eine leichte, ungewollte Neigung in Umfangsrichtung aufwiesen. Mit den gezeigten, höhenversetzten Aktuatorpaaren kann während des Schweißvorganges eine gezielte kleine, entgegengesetzte Neigung der Kassette 11 und der Schaufel 3 in Umfangsrichtung eingestellt werden, z.B. durch geometrische Nullpunktverschiebung der höheren Aktuatorpaare relativ zu den niedrigeren Aktuatorpaaren, so dass am Ende des Schweißvorganges die gewünschte Schaufelorientierung exakt gegeben ist. Die Stauchvorrichtung 10 mit Piezoaktor 16 kann wie in den vorhergehenden Figuren ausgeführt sein.

Die Bewegungsamplituden von Piezoaktuatoren liegen relativ zur Aktuatorlänge im Promillebereich. Um bei vorgegebenen Amplituden die Aktuatorlängen zu reduzieren, kann man die Aktuatoramplituden mechanisch vergrößern, wobei unterschiedliche Getriebemechanismen möglich sind. Figur 5 zeigt beispielhaft eine Blattfederanordnung 22 für diesen Zweck. Zwei oder mehr Blattfedern sind an einem Ende fest in eine statische Basis 25 eingespannt. Die anderen Enden der Blattfedern sind in ein bewegliches Teil 24 eingebettet. Ein mit einem Piezoaktor 21 verbundenes Zug-/Druckelement greift an den Blattfedern im Bereich zwischen der Basis 25 und dem Teil 24 an. Durch elastische Verformung der Blattfedern wird das Teil 24 mit größerer Amplitude und gleicher Frequenz



in Relation zum Zug-/Druckelement bewegt. Durch Heranrücken des Zug-/Druckelementes an die Basis 25 lässt sich die Bewegungsamplitude des Teils 24 vergrößern, bei Reduzierung der vom Teil 24 ausgeübten Kraft. Die Bewegung des Teils 24 ist dabei nicht exakt linear, da eine gewisse Schwenkbewegung überlagert ist. Die Kinematik ähnelt sehr stark einer Parallelogrammführung.

Wie bereits erwähnt, umfassen Piezoaktuatoren mit Amplituden im Millimeterbereich eine Vielzahl von Piezoelementen in geometrischer Reihenschaltung. Es kann sich durchaus um mehrere Hundert solcher Piezoelemente handeln. Da handelsübliche Piezoelemente im Querschnitt begrenzt sind, z.B. auf Münzgröße, kann es zur Erzielung großer Kräfte erforderlich sein, mehrere „Säulen“ von in Reihe geschalteten Piezoelementen parallel anzuordnen und in einem z.B. rohrförmigen Aktuator zusammenzufassen. Figur 6 zeigt stark vereinfacht auf einer statischen Basis 26 zwei parallel angeordnete „Säulen“. Die beiden Säulen führen zu einem beweglichen Joch 27, das die gleiche Bewegungsamplitude wie jede der Säulen aufweist bei doppelter Druckkraft gegenüber einer einzelnen Säule. Selbstverständlich können auch mehr als zwei parallelgeschalteter „Säulen“ in einem Aktuator zusammengefasst sein. Die geometrisch/konstruktive Reihen- bzw. Parallelschaltung darf nicht mit der elektrischen Schaltung der Piezoelemente verwechselt werden, wobei auch elektrisch Reihen- und Parallelschaltungen verwendet werden, letztere insbesondere um Spannungen zu begrenzen.

### Patentansprüche

1. Reibschweißvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von Bauteilen, insbesondere für das Verbinden von strömungstechnisch wirksamen Schaufeln mit scheiben- oder ringförmigen Schaufelträgern zur Herstellung und Instandsetzung von integral beschaufelten Rotorkomponenten für Turbomaschinen, mit einem eine definierte periodische Bewegung eines Bauteils und einer and diesem vorhandenen Schweißfläche relativ zu einem anderen, während des Schweißens statisch gehaltenen Bauteil und einer and diesem vorhandenen Schweißfläche mit Bewegungsrichtungen parallel zu den Schweißflächen erzeugenden Oszillator, mit einer die Schweißflächen mit definierter Kraft aufeinander drückenden Stauchvorrichtung und mit einer das bewegte Bauteil außerhalb der Schweißzone aufnehmenden Kassette, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Oszillator (8, 9) zwei oder eine höhere gerade Anzahl an Piezoaktuatoren (12 bis 15, 17 bis 20) umfasst, welche paarweise zumindest annähernd auf einer Wirkungslinie liegen und unter Druckerzeugung durch piezoelektrische Längenänderung von gegenüberliegenden Seiten gegen die Kassette (11) vorspannbar und an ihren kassettenseitigen Enden zusammen mit der Kassette (11) und dem Bauteil (3) synchron oszillierend bewegbar sind.
2. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stauchvorrichtung (10) mindestens einen Piezoaktor (16) umfasst, dessen piezoelektrisch bewegbares Ende mit der Kassette (11) zur Einleitung einer definierten Stauchkraft ( $F_s$ ) senkrecht zu den Schweißflächen (5, 6) koppelbar ist.
3. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Vergrößerung der relativ kleinen, linearen Bewegungen der Piezoaktuatoren (21) mechanische Getriebe, wie z.B. Hebelmechanismen, Blattfederanordnungen (22), Kurvengetriebe, Kulissensteuerungen oder ähnliches vorhanden sind mit der

Möglichkeit, größere Bewegungen mit geraden und/oder gekrümmten Bahnen zu erzeugen.

4. Reibschweißvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, für das Verbinden von Schaufeln mit einem scheiben- oder ringförmigen Schaufelträger, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wirkungslinien der Piezoaktuatoren (12 bis 15) quer zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) verlaufen, dass ein Paar von Piezoaktuatoren (12, 13) auf einer Wirkungslinie axial vorderhalb der Schaufel (3) von gegenüberliegenden Seite am vorderen Ende der Kassette (11) angreift, und dass ein Paar von Piezoaktuatoren (14, 15) auf einer Wirkungslinie axial hinterhalb der Schaufel (3) von gegenüberliegenden Seiten am hinteren Ende der Kassette (11) angreift.
5. Reibschweißvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, für das Verbinden von Schaufeln mit einem scheiben- oder ringförmigen Schaufelträger, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wirkungslinien der Piezoaktuatoren (17 bis 20) quer zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) verlaufen, dass zwei Paare von jeweils auf einer Wirkungslinie liegenden Piezoaktuatoren (17, 19) in unterschiedlicher radialer Höhe (H1, H2) relativ zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) axial vorderhalb der Schaufel (3) von gegenüberliegenden Seiten am vorderen Ende der Kassette (11) angreifen, und dass zwei Paare von jeweils auf einer Wirkungslinie liegenden Piezoaktuatoren (18, 20) in unterschiedlicher radialer Höhe (H1, H2) relativ zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) axial hinterhalb der Schaufel (3) von gegenüberliegenden Seiten am hinteren Ende der Kassette (11) angreifen.
6. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine, am axial vorderen Ende der Kassette (11) angreifende Paar von Piezoaktuatoren (12, 13, 17, 19) in Relation zu dem mindestens einen, am axial hinteren Ende der Kassette (11) angreifenden Paar von Piezoaktuatoren (14, 15, 18, 20) mit gleicher Frequenz, mit gleicher oder verschiedener Amplitude sowie phasengleich oder phasenverschoben bewegbar ist.

7. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die geometrischen Nullpunkte der Oszillationsbewegungen der beiden in der Höhe (H1, H2) versetzten, am axial vorderen Ende der Kassette (11) angreifenden Paare von Piezoaktuatoren (17, 19) relativ zueinander verschiebbar sind, ebenso wie die geometrischen Nullpunkte der Oszillationsbewegungen der beiden in der Höhe (H1, H2) versetzten, am axial hinteren Ende der Kassette (11) angreifenden Paare von Piezoaktuatoren (18, 20).
8. Reibschweißvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kraft-/Wegverhalten der Piezoaktuatoren (12 bis 21) durch geometrische Reihen- und Parallelschaltung von Piezoelementen (23) gewählt ist.
9. Reibschweißvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der maximale elektrische Spannungsbedarf der Piezoaktuatoren (12 bis 21) durch elektrische Reihen- und Parallelschaltung der Piezoelemente (23) begrenzt ist.

1/3

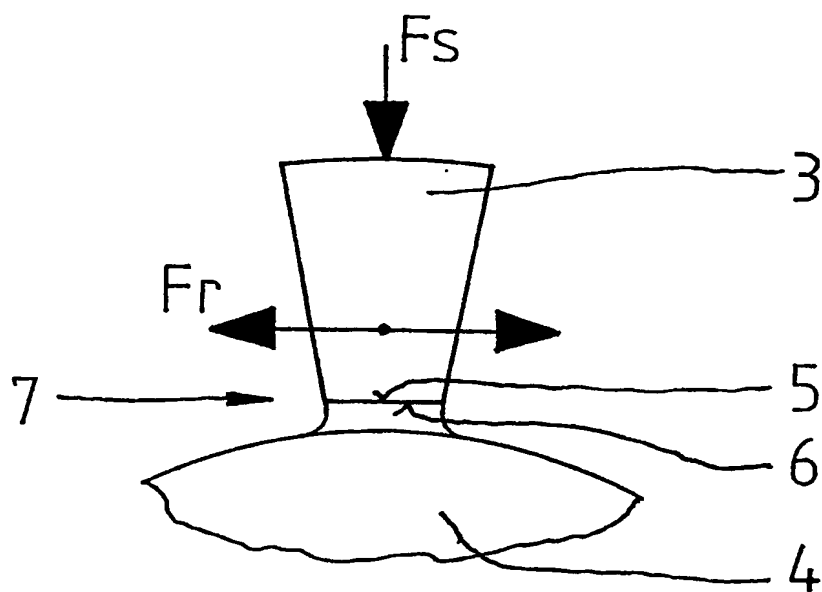


Fig. 1

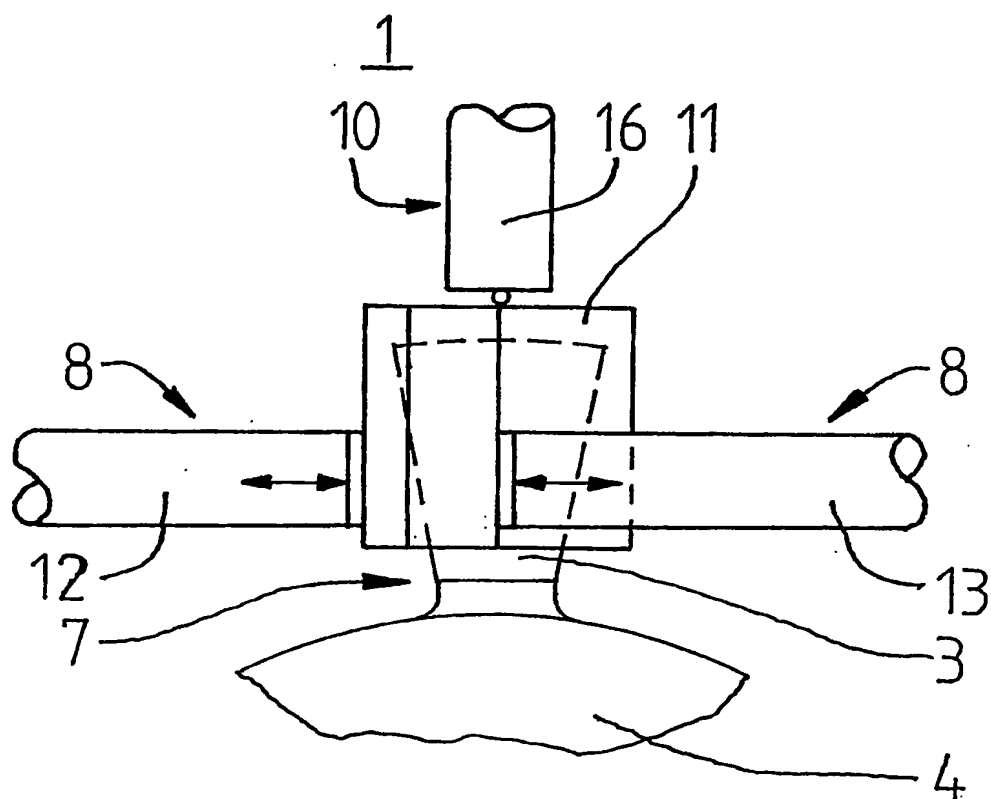


Fig. 2

2/3

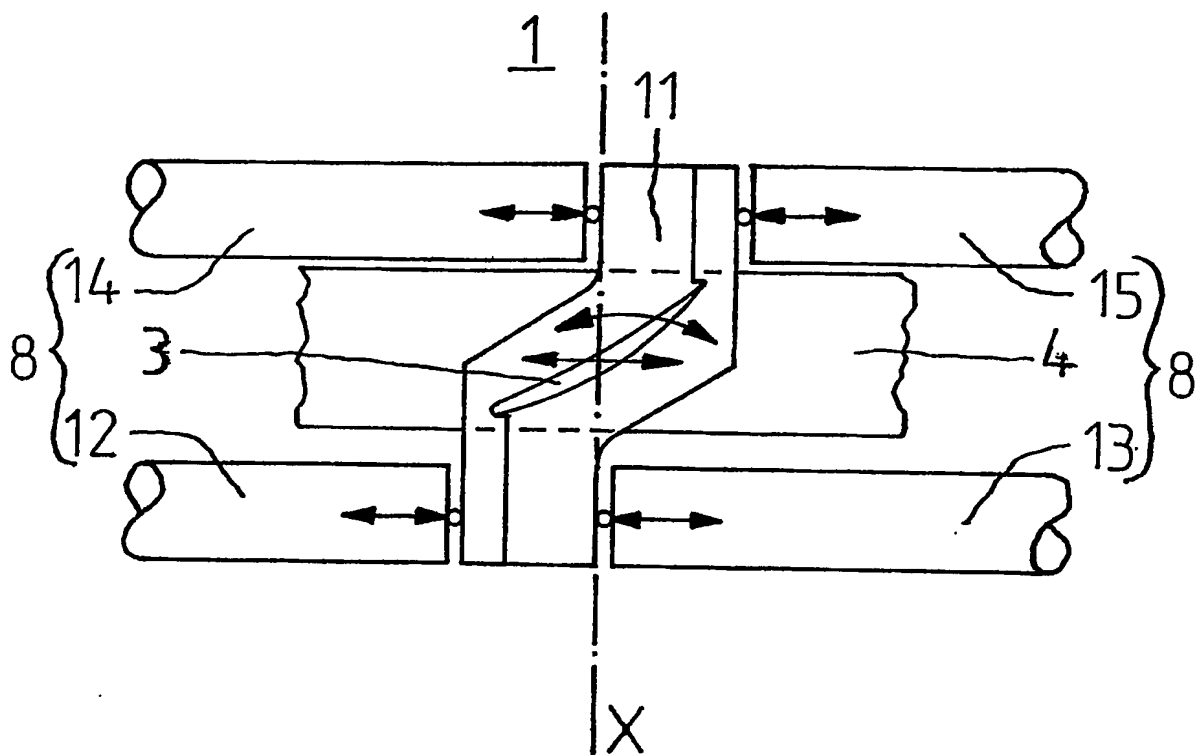


Fig. 3

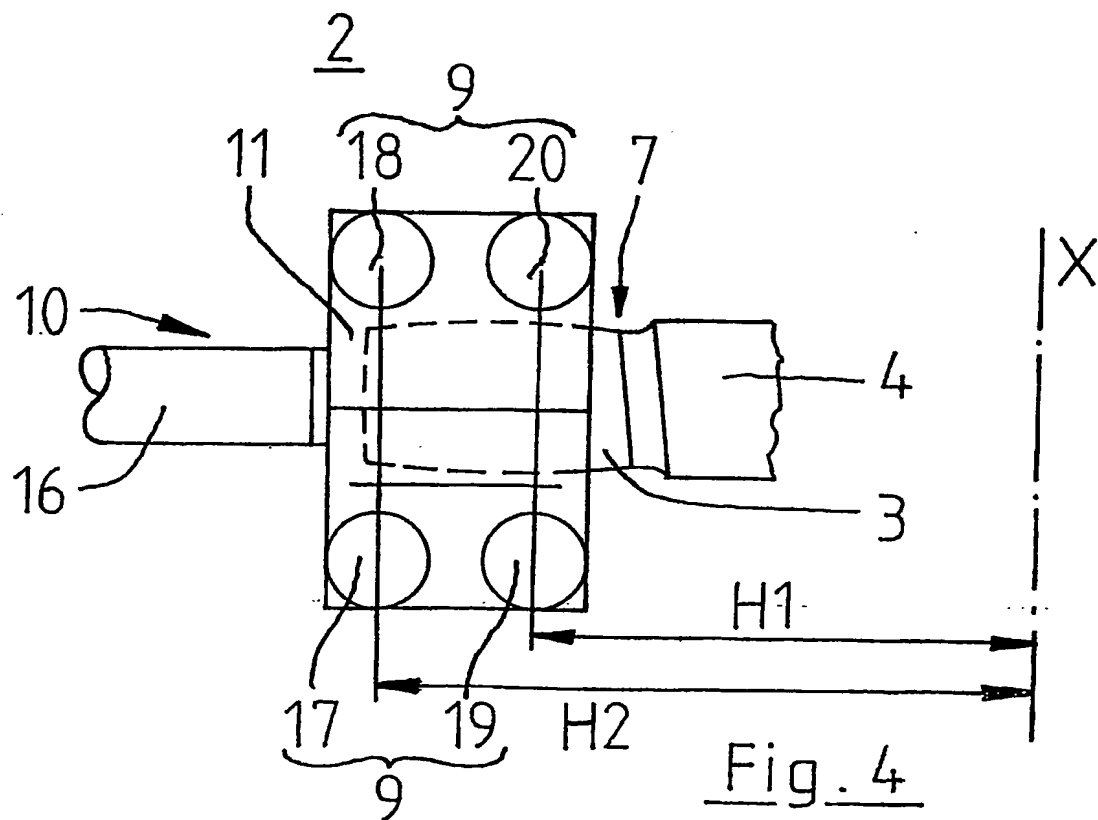
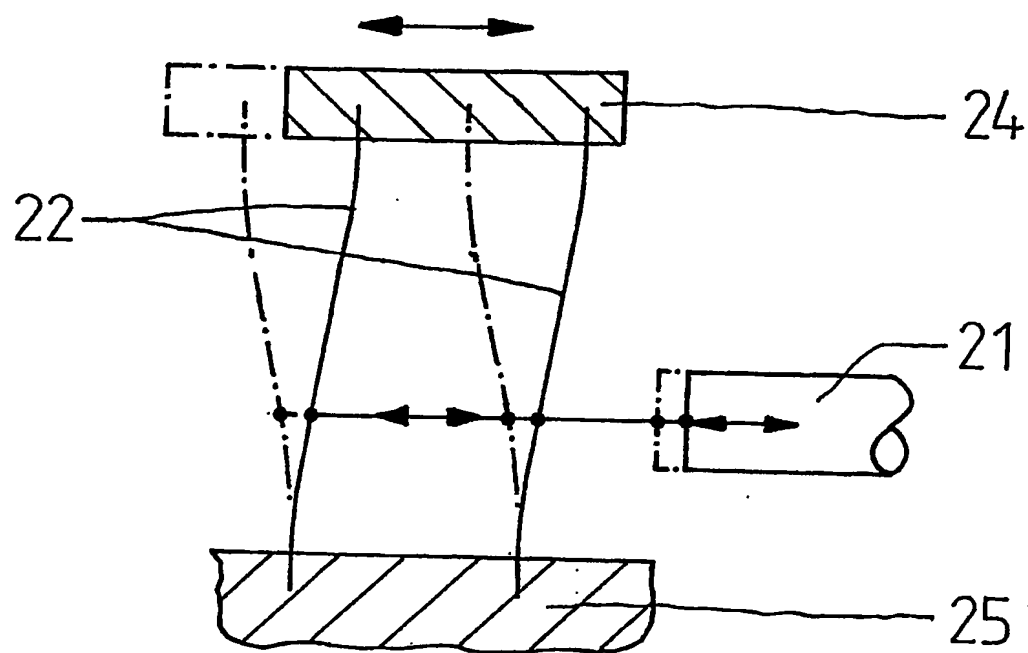
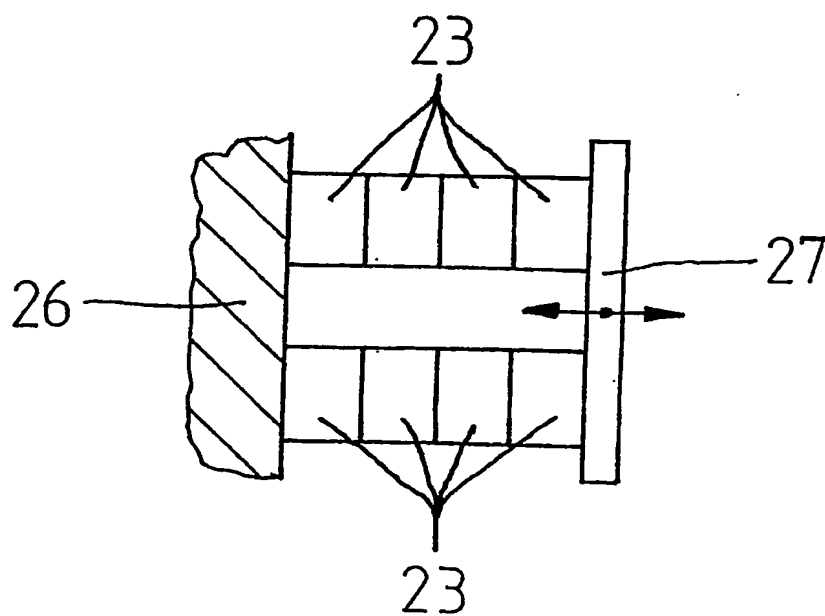


Fig. 4

Fig. 5Fig. 6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inten Application No

PCT/DE 03/03920

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 B23K20/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 513 669 A (MOTOREN TURBINEN UNION) 19 November 1992 (1992-11-19) cited in the application the whole document	1
A	EP 0 718 069 A (ROLLS ROYCE PLC) 26 June 1996 (1996-06-26) claims 1-9; figures 1,2	1
A	EP 0 290 134 A (ROLLS ROYCE PLC) 9 November 1988 (1988-11-09) the whole document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 April 2004

Date of mailing of the international search report

20/04/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Concannon, B



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Publication No  
PCT/DE 03/03920

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 0513669	A	19-11-1992	DE	59204230 D1	14-12-1995
			EP	0513669 A2	19-11-1992
EP 0718069	A	26-06-1996	DE	69502467 D1	18-06-1998
			DE	69502467 T2	24-12-1998
			EP	0718069 A1	26-06-1996
EP 0290134	A	09-11-1988	DE	3860098 D1	31-05-1990
			EP	0290134 A1	09-11-1988
			JP	63286286 A	22-11-1988
			US	4884736 A	05-12-1989

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern Aktenzeichen

PCT/DE 03/03920

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 B23K20/12

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 513 669 A (MOTOREN TURBINEN UNION) 19. November 1992 (1992-11-19) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1
A	EP 0 718 069 A (ROLLS ROYCE PLC) 26. Juni 1996 (1996-06-26) Ansprüche 1-9; Abbildungen 1,2	1
A	EP 0 290 134 A (ROLLS ROYCE PLC) 9. November 1988 (1988-11-09) das ganze Dokument	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. April 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/04/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Concannon, B

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

Intern. Identifizierungszeichen

PCT/DE 03/03920

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0513669	A	19-11-1992	DE	59204230 D1	14-12-1995
			EP	0513669 A2	19-11-1992
EP 0718069	A	26-06-1996	DE	69502467 D1	18-06-1998
			DE	69502467 T2	24-12-1998
			EP	0718069 A1	26-06-1996
EP 0290134	A	09-11-1988	DE	3860098 D1	31-05-1990
			EP	0290134 A1	09-11-1988
			JP	63286286 A	22-11-1988
			US	4884736 A	05-12-1989